

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ  
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

# **«ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СЕП»**

## **Методичні вказівки**

до виконання самостійної роботи для студентів

денної та заочної форми навчання за напрямом підготовки:

**141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

*(спеціалізація «Енергетика та автоматика аграрного комплексу»)*

Затверджено на засіданні кафедри  
автоматизації виробничих процесів,  
протокол № 9 від 30.01.2018р.

**Кропивницький 2018**

Енергетичний моніторинг та оптимізація СЕП. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи для студентів денної та заочної форми навчання за напрямом підготовки: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціалізація «Енергетика та автоматика аграрного комплексу») / О. П. Голик, І.В. Волков – Кропивницький: ЦНТУ. -2018. - 32 с.

Укладачі: Голик О. П., кандидат технічних наук, доцент кафедри АВП;  
Волков І.В., викладач кафедри АВП.

Рецензент: Каліч В. М., кандидат технічних наук, професор.

## **ЗМІСТ**

<b>ВСТУП.....</b>	<b>4</b>
<b>ПЕРЕЛІК ТЕМ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....</b>	<b>5</b>
<b>ПРИКЛАД ТА ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....</b>	<b>6</b>
<b>ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....</b>	<b>8</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>30</b>

## ВСТУП

Метою дисципліни є формування у студентів знань основних понять у сфері енергетичного моніторингу та оптимізації систем електропостачання, теорії оптимізації задач електропостачання, методів розв'язання задач оптимізації систем електропостачання. Курс розглядає інформаційні системи енергетичного моніторингу споживання енергетичних ресурсів у різних сферах.

Згідно робочого навчального плану спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціалізація «Енергетика та автоматика аграрного комплексу») для вивчення даної дисципліни передбачено третину годин для самостійного опрацювання.

Таким чином студент повинен самостійно опанувати третину матеріалу з дисципліни «Енергетичний моніторинг та оптимізація СЕП» та оформити його у вигляді самостійної роботи, згідно вимог.

Дані методичні вказівки містять перелік тем для самостійного опрацювання, які включають в себе питання методи оптимізації в системах електропостачання; розв'язання задач лінійного цілочисельного програмування в енергетиці; нелінійного програмування в енергетиці; особливості розв'язання задач стохастичного програмування та теорії ігор в енергетиці та застосування методів статистичного аналізу в енергетиці АПК

## ПЕРЕЛІК ТЕМ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Теми самостійної роботи
1	Загальні принципи, завдання та методи оптимізації в системах електропостачання
2	Методи розв'язання задач лінійного цілочисельного програмування в енергетиці
3	Методи нелінійного програмування в енергетиці
4	Особливості розв'язання задач стохастичного програмування та теорії ігор в енергетиці
5	Застосування методів статистичного аналізу в енергетиці АПК
6	Обмеження резонансних перенапруг при підключенні до лінії ненавантаженого автотрансформатора

# ПРИКЛАД ТА ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Структура оформлення самостійної роботи:

1. Титульний аркуш
2. Зміст
3. Основна частина
4. Висновки
5. Список використаних джерел

Основна частина (складається з розділів, підрозділів, пунктів та підпунктів, за необхідності).

У тексті повинні бути вказані джерела з яких використано інформацію, згідно списку використаних джерел.

Наприклад, *Автоматизація агротехнологічних процесів* - етап комплексної механізації, що характеризується звільненням людини від безпосереднього виконання функцій управління технологічними процесами і передачею цих функцій автоматичним пристроям [8].

Вимоги до оформлення самостійної роботи (СР):

- обсяг СР до 20 сторінок, формату А4;
- Параметри сторінки: верхнє та нижнє – 20 мм; ліве – 25 мм; праве – 15 мм;
- Текст – шрифтом Times New Roman;
- розмір – 14 пт; інтервал – 1,0.

## Зміст

Вступ.....	№стр.
Основна частина.....	№стр.
Висновки.....	№стр.
Список використаних джерел.....	№стр.

*Приклад титульного аркуша самостійної роботи*

Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра автоматизації виробничих процесів

# САМОСТІЙНА РОБОТА

з дисципліни «Машини та обладнання АПК»

на тему

«Назва роботи»

Виконав:  
студент (ка) гр.

***П.І.П.***

Перевірив:  
к.т.н., доцент  
**Голик О.П.**

Кропивницький 2018

## ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Використано матеріали [18].

Головними завданнями сьогодення в усіх галузях народного господарства, в т.ч. і при розробці сучасних електротехнічних комплексів різного призначення, сучасних електрифікованих технологічних процесів та систем електрообладнання, управління, планування в агропромисловому комплексі є питання підвищення якості та ефективності енергоспоживання, енергозбереження, зниження енергоємності шляхом структурної перебудови всіх сфер матеріального виробництва на новій наукоємній технологічній базі.

Розв'язок усіх завдань ставить нові вимоги до творчого потенціалу фахівців при переозброєнні та структурній перебудові багатьох питань в електрифікації сільського господарства шляхом застосування обчислювальної техніки, методів математичного моделювання та оптимізації. Вирішення таких питань вимагає вдосконалення уяви про різні процеси, явища, об'єкти, отримання нових знань, інформації, об'єктивність отримання яких, в значній мірі визначається рівнем організації проведення фундаментальних і наукових досліджень, теоретико-експериментальних методів пізнання, і в першу чергу математичного моделювання на базі розробки і побудови математичних моделей.

Математичне моделювання є одним із найрозповсюдженіших способів дослідження різних процесів та явищ. Математичне моделювання включає в себе одержання та застосування математичних моделей. Аналітичний аспект його складається із змістовного опису об'єкта у математичній формі [18].

При дослідженнях та оптимізації енергетичних систем (об'єктів) необхідно виходити з методології системного підходу. Особливо це стосується складних технічних систем, коли виникає необхідність структуризації об'єкту як системи взаємозв'язаних елементів (підсистем) та можливість динаміки розвитку окремих елементів системи.



Системний підхід означає, що будь-яка складна система, прикладом якої можуть бути різні енергетичні системи агропромислового комплексу, становить інтегральне ціле навіть тоді, коли побудована з окремих роз'єднаних функціональних систем і підсистем.

Реальні складні системи працюють в умовах дії великої кількості факторів, головними ознаками яких є:

- велика кількість взаємодіючих між собою елементів;
- складність функціональної системи;
- цілі функціонування складових підсистем підпорядковані загальній меті системи;
- наявність системи керування ієрархічної за структурою, головною властивістю якої є значні потоки різноманітної інформації, в т.ч. взаємодія з навколишнім середовищем, вплив різних факторів, зміна їх у широких межах.

Безумовно методи системного підходу повинні бути направлені на пошук і визначення оптимуму цільових функцій складних систем за окремими показниками і, в першу чергу, в напрям досягнення мети. Якість функціонування таких систем оцінюють залежно від її особливостей різноманітними критеріями, серед яких є: ефективність, собівартість, надійність, продуктивність, точність тощо.

Системний підхід широко використовується при вирішенні питань оптимізації енергопостачання та енергопостачання. Використання системного підходу сприяє забезпеченню раціональних структурних перебудов енергетичних систем, господарств, отримання максимального енергозберігаючого ефекту та екологічної безпеки, можливість розробки перспективних напрямів розвитку цих систем, особливо в питаннях підвищення енергоефективності.

Серед завдань, що виникають у зв'язку з дослідженнями складних систем при розробці, проектуванні та експлуатації різних електротехнічних систем,

електрифікованих технологій у сільськогосподарському виробництві можна виділити два основних класи завдань:

- аналізу – пов'язані з вивченням поведінки системи залежно від її структури, величини параметрів та властивостей;

- синтезу – що обумовлює вибір структури системи і визначення значень параметрів, виходячи з необхідних властивостей та особливостей системи.

Разом з тим, сучасний рівень розробки теоретичних основ аналізу і синтезу складних систем та процесів в енергетиці сільськогосподарського виробництва, на жаль, ще недостатній для вирішення широкого кола оптимізаційних задач, більшість яких є багатокритеріальними.

Вирішення подібних задач повинно здійснюватись шляхом формулювання будь-якої технічної, технологічної, економічної та іншої задачі математичною мовою, тобто запису за допомогою конкретних математичних виразів, співвідношень (моделей) залежно від мети, завдань та можливостей досліджень. Моделі, призначені для опису об'єкта (система, процес та ін.), класифікують, виходячи з методу їх отримання. Основними методами отримання моделей є аналітичні, експериментальні та аналітично-експериментальні.

Враховуючи те, що на практиці дуже часто існують ситуації, які не обумовлюють можливості отримання для цільової функції аналітичного виразу, експериментальні значення її визначають дослідним шляхом, тобто отримання моделі шляхом спеціального спланованого експерименту. При цьому, такий експеримент являє цілеспрямоване спостереження, відтворення об'єкта пізнання, що обумовлює визначення об'єктивних, реальних закономірностей, встановлення впливу різних факторів, як один на одного, так і на вихідні параметри.

Безумовно експериментальні дослідження повинні бути правильно організовані з методичних позицій, базуватися на можливостях переходу від

цілеспрямованих спостережень до логічного узагальнення результатів досліджень. Такі дослідження повинні бути забезпечені відповідними методологічними положеннями та метрологією, підтверджувати відомий вислів: "наука починається там, де починаються вимірювання"; здійснюватися за наявності натурного або експериментального зразка (макета) в межах допустимих шуканих величин параметрів і режимів їх роботи. Ступінь впливу різних факторів на досліджуваний об'єкт, систему повинна оцінюватись методами факторного аналізу з використанням апарату планування експерименту, який являє собою сукупність прийомів, що дозволяють досліднику (експериментатору) розумно здійснювати і ставити експеримент, правильно обробити та інтерпритувати результати із врахуванням мети, можливості отримання математичного опису досліджуваного об'єкта, який являв би математичну форму функції відгуку або математичну модель у вигляді рівняння регресії, системи рівнянь, нерівностей тощо.

У більшості випадків вихідні параметри являють собою випадкові величини, які і визначають статистичний розподіл, тобто залежність частоти появи від значення випадкової величини. Цей розподіл є різним і залежить від природи випадкових величин: наприклад рівномірний, біноміальний, експоненціальний, нормальний тощо. Під час дослідження об'єктів, які являють собою електротехнічні системи, комплекси, електрифіковані технології та виробництва більшість результатів підпорядковуються закону нормального розподілу.

Важливою складовою частиною наукового дослідження є побудова математичної моделі об'єкта, яка може будуватися за результати теоретичних або експериментальних досліджень, і фактично являти собою теоретичне відтворення або реконструкцію об'єкта-оригінала в інший об'єкт (модель, схожу на оригінал) у формі математичної моделі. При цьому головною умовою є зберігання конкретних та достатніх співвідношень між оригіналом та моделлю.

У загальному плані моделлю можна вважати матеріальний або абстрактний об'єкт, який перебуває в деякій відповідності з визначеним об'єктом або здатний змінити його і нести про нього найбільш суттєву нову інформацію.

Модель вибирають залежно від мети, завдань досліджень і вона повинна відображати лише найважливіші риси об'єкта дослідження, який в загальному розумінні являє собою матеріальну чи ідеальну систему, наприклад процеси та режими систем енергопостачання, енергозберігаючих заходів, обмінні процеси у багатофазних системах електропостачання, процеси, пов'язані з електротехнічними технологіями в агропромислового комплексі, видобутку, виробництва і використання паливно-енергетичних ресурсів, виробництвом сучасного енергетичного та енерготехнічного обладнання тощо.

Таким чином, модель як умовний образ дослідження є важливим інструментом наукового пізнання. Вона повинна відтворювати за можливістю реальний процес і спрощувати його, не засмічувати його несуттєвими рисами. Разом з тим, складність і різноманіття функціонування процесів реальних складних систем (об'єктів) не дозволяє будувати абсолютно адекватні математичні моделі. При цьому потрібно пам'ятати, що відповідність моделі оригіналу полягає у схожості, а не в тотожності їх поведінки.

До предметних моделей, в першу чергу, належать фізичні та аналогові моделі. Предметні моделі в цілому описують структуру та зовнішні характеристики об'єкта дослідження та являють собою, в першу чергу, статичні моделі (макет, схема, план та ін.). Фізичні та аналогові моделі використовують подібність певних фізичних явищ, процесів в оригіналі або моделі. Такі моделі відтворюють досліджуваний процес із максимальною можливістю збереження його фізичної природи. Переваги таких моделей в тому, що умови реалізації їх значно відрізняються від умов, які властиві оригіналу і вибираються, виходячи із зручності та простоти дослідження. Разом з тим, умови побудови таких моделей повинні враховувати та зберігати деякі співвідношення подібності, які

впливають із фізичної природи явищ та процесів, що на жаль, обмежує коло їх застосування.

До знакових моделей, в першу чергу, належать математичні (символьні) моделі, які описують властивості об'єкта досліджень символами математичних або логічних залежностей у вигляді рівнянь, нерівностей, тобто вивчаючи різні явища, процеси та ін., які мають різний фізичний зміст, описують їх математичними співвідношеннями.

Імовірнісна модель – модель, яка крім врахування впливу випадкових факторів на об'єкт, може оцінювати його майбутнє лише з позицій імовірності тих чи інших подій.

Схематично модель найчастіше подають у вигляді "чорного ящика", під яким розуміється об'єкт, який має входи і виходи. Назва "чорний ящик" підкреслює повну або часткову відсутність інформації про внутрішню структуру об'єкта дослідження, про суть явищ, які відбуваються в ньому і приховані від дослідника.

Для побудови математичної моделі може використовуватися математичний апарат різної складності. Все залежить від об'єкта досліджень та запланованої вихідної інформації.

Під математичною моделлю прийнято розуміти сукупність співвідношень (рівняння, нерівності, логічні умови тощо), які визначають характеристики стану об'єкта дослідження (явище, процес, система та ін.), а через них і вихідні (шукані) значення залежно від параметрів об'єкта-оригінала, визначення яких і є метою дослідження.

Побудова математичної моделі передуює вивченню структури складових конкретного об'єкта дослідження, тобто побудови формалізованої схеми, яка б втілювала дані про фізичну природу об'єкта, кількісні та якісні характеристики, взаємодію і взаємозв'язок між окремими його елементами.

Відомо, що математична модель повинна мати експериментальне підтвердження. У випадку, коли модель побудована на основі використання

теоретичних методів, вона повинна бути перевірена на адекватність моделі, наприклад на окремому елементі по математичній моделі цього ж елемента.

Потрібно пам'ятати, що будь-яка математична модель у своєму початковому вигляді не може бути використана для аналітичного дослідження об'єкта, який в загальному розумінні являє собою матеріальну чи ідеальну систему. Це вимагає перетворення її в таку систему співвідношень, яка б описувала її функціонування і дозволила отримати необхідний результат аналітичним методом.

Використання математичної моделі для дослідження різних процесів повинно враховувати необхідність визначення шуканих величин, які і є метою дослідження.

Значне місце при цьому займає пошук способів використання математичної моделі, серед яких основними є:

- аналітичні дослідження процесів;
- дослідження процесів шляхом застосування апаратного моделювання та за допомогою багато чисельних методів, в т.ч. спеціальних аналогових та моделюючих установок.

Математична модель в змозі охопити основні закономірності процесу, який досліджується, залишає несуттєві другорядні фактори на стороні. Вона має бути пристосована до розв'язання конкретних задач, обумовити результат, під яким треба розуміти побудову реальних формул для визначення шуканих величин або рівнянь, розв'язання яких відомі або можуть мати рішення.

При розробці математичної моделі важливим є питання встановлення мінімальної, але і достатньої кількості параметрів, які необхідні для відповідних досліджень, розрахунків та ін.. Виявлення таких параметрів іноді потребує проведення спеціальних додаткових теоретично-експериментальних досліджень об'єкту. Таким чином, особливу значущість при моделюванні набуває сукупність параметрів, які і обумовлюють досягнення мети моделювання та досліджень в цілому.

Математична модель, як правило, повинна вдосконалювати тільки ті властивості об'єкта-оригінала, які визначають і являють інтерес з точки зору мети і задач конкретного дослідження. Це означає, що математична модель залежно від вимог дослідження може мати різні математичні описи і подаватися різними математичними моделями.

Необхідно відрізняти математичні моделі, які призначені тільки для опису, від моделей, які призначені для оптимізації його стану.

До основних методів розв'язання математичних моделей згідно з рис. 1.5, в першу чергу, належать: *детерміновані, імовірнісні, аналітичні, емпіричні, статистичні та динамічні*.

Детерміновані моделі описують поведінку об'єкта з певною визначеністю, закономірністю, передбачають зв'язок між вхідними та вихідними величинами, можливість визначення закономірного функціонального зв'язку. До таких моделей належать формули різних фізичних законів, програм розподілу та обробки продукції, руху тіл та ін. Прикладом детермінованої інформації може бути інформація про витрати енергії на об'єкті, споживання електроенергії на виробництві та ін.

Імовірнісні моделі враховують вплив випадкових факторів на поведінку досліджуваного об'єкту і можуть оцінювати його в подальшому лише з позицій імовірності тих чи інших подій. Прикладом такої недетермінованої, випадкової інформації можуть бути ці ж самі втрати енергії, але при проектуванні об'єкта, опис випуску понадпланової продукції, в т. ч. електроенергії, тривалості монтажу та ремонту обладнання, різних виробів.

Аналітичні методи займають значне місце серед методів пошуку оптимальних (найкращих) розв'язків. До аналітичних методів, в першу чергу, належать диференціальне числення, метод множників Лагранжа, варіаційне числення, а також математичне програмування (лінійне, нелінійне, динамічне, стохастичне).

Диференціальне числення як складова частина математичного аналізу найбільш знайоме інженерам-енергетикам. Взявши частинні похідні цільової функції по кожній змінній і прирівнявши їх до нуля, одержимо систему, як правило, нелінійних рівнянь, яку можна розв'язувати відомими аналітичними або числовими методами. Аналізуючи результати розв'язання, вибирають той, який забезпечує найкраще значення критерія, який прийнятий у конкретному випадку для досягнення мети.

Метод множників Лагранжа застосовують для самих задач, але за наявності обмежень типу рівнянь. У цьому випадку найкращий результат цільової функції лежить на обмеженні, тобто його можна вважати умовним.

Варіаційне числення використовують для розв'язання динамічних задач, а також для отримання найкращого (оптимального) результату статичних об'єктів з розподіленими параметрами. При цьому невідомі функції, які обумовлюють екстремум (optim) функції одержують шляхом інтегрування системи диференціальних рівнянь Ейлера, число рівнянь яких у системі дорівнює числу невідомих функцій.

Приклади застосування аналітичних методів при розв'язанні оптимізаційних задач наведено нижче.

Математичні моделі поділяють також на статичні та динамічні.

Статичні моделі відображають статичні, стаціонарні або сталі режими роботи об'єктів моделювання, тобто об'єктів, в яких параметри їх не залежать від часу. Статичні моделі будуються в залежності функції від аргументу, тобто виходу об'єкта від його входу. Такі моделі можуть бути отримані аналітичним, розрахунковим та експериментальним шляхом. Статичні моделі найчастіше застосовують при розрахунках різних технологічних та фізико-хімічних процесах, при розробках систем та впровадженні систем керування, різних енергетичних балансів, розподілу електричної енергії тощо.

Динамічні моделі описують несталі, перехідні або динамічні режими, в яких визначальні параметри змінюються у часі. В ряді випадків розробка



динамічних моделей вказує на необхідність врахування не тільки значень змін у часі, але й порядку, послідовності і виконання різних методів, процесів, операцій та ін., вимагає визначення коефіцієнтів диференціального рівняння з врахуванням мінімальних відхилень результатів розрахунків від фактичних (експериментальних) даних. Для отримання динамічних моделей застосовують аналітичні моделі, перевагою яких є відображення взаємозв'язків між внутрішніми параметрами об'єкта в цієї моделі, а недоліком – низька точність та значна складність визначення часткових значень багатьох змінних та констант. Основним методом отримання динамічних моделей є експериментальні та експериментально-аналітичні методи, перевагою яких в порівнянні з чисто аналітичними є більша точність і менша громіздкість, можливість отримання структури моделей, яка найбільш відповідає реальності.

Математична модель, тобто формалізований математичний опис об'єкта, включає в себе цільову функцію, обмеження та граничні умови.

Вигляд цільової функції, яка в принципі являє собою функцію мети, визначається в основному типом критерію оптимальності – певним показником, який кількісно виражає результат прийнятого розв'язку і дає однозначну оцінку об'єкта дослідження, в першу чергу, в сенсі оптимізації. В цьому випадку на кожну змінну встановлюють певні обмеження і визначають область допустимих (граничних умов).

Шукані змінні за своїм характером поділяють на безперервні, дискретні та цілочисельні. У випадку, коли змінна приймає нові значення, вона буде безперервною, приймаючи тільки значення цілих чисел, буде цілочисельною змінною, а у випадку, коли вона (змінна) може приймати тільки певні значення, буде називатися *дискретною*. Прикладами таких змінних відповідно можуть бути: потужність, яка передається по лінії електропередачі; кількість підстанцій для електропостачання об'єкта; потужність компенсуючого пристрою або переріз проводів електричної мережі, значення яких регламентуються відповідними стандартами, енерговитрати при використанні різних

електротехнологічних процесів.

Обмеження, які включає математична модель, являють собою різні технічні, технологічні, організаційні, екологічні та інші умови, які необхідно враховувати при розв'язанні оптимізаційних задач.

Практичне розв'язання оптимізаційних задач висуває ряд вимог до цільових функцій і, в першу чергу, однозначність, керованість, відповідність і зручність розв'язання.

Однозначність стверджує те, що оптимальність об'єкта повністю характеризується однією цільовою функцією. Вимога керованості забезпечує залежність цільової функції від змінних керування, а відповідність цільової функції означає, що знайдені оптимальні величини змінних факторів забезпечують найкраще керування об'єктом.

Враховуючи різні відношення до цільових функцій, критеріїв, задачі можуть поділятися на типи (класи) залежно від конкретних умов, призначення, покладених функцій та мети.

Оптимізація це, в першу чергу, визначення найкращих з усіх варіантів об'єкту критеріїв ефективності, які б обумовлювали вибір параметрів енергетичних, конструктивних, технологічних), що забезпечують оптимальні або близький до оптимальних значення критерія оптимальності.

Поняття "оптимальний" означає такий варіант розв'язку певної проблеми (завдання), який найбільше відповідає певним умовам і вимогам, являє собою найкращий із можливих.

Процеси оптимізації є основою практичної діяльності багатьох галузей науки і техніки, в т.ч. енергетиці сільського господарства. Вони базуються на теорії оптимізації, яка в принципі являє собою сукупність математичних методів і, в першу чергу, фундаментального та прикладного характеру. Ці методи, в т.ч. значна кількість чисельних спрямовані на пошук та ідентифікацію експериментальних варіантів розв'язання найрізноманітніших задач, функціональних залежностей тощо.

Звідси витікає, що основним завданням оптимізації є знаходження таких керуючих факторів і визначення їх величин, при яких показники ефективності досліджуваного об'єкта досягнуть екстремального (максимального або мінімального) значення.

Об'єктами оптимізації можуть бути: плани та розподіл електропостачання, структура виробництва електроенергії, режими роботи та параметри електрообладнання, електричних станцій, підстанцій, електричних мереж, електрифікованих технологій в агропромисловому комплексі тощо.

Безумовно, вирішення таких задач вимагає застосування методів наукового підходу, тобто створення наукових методів оптимізації процесів, систем, обладнання на базі проведення дослідження операцій.

Формулювання задачі оптимізації обумовлює спочатку лише загальне уявлення про мету її розв'язання та про множину тих розв'язків, серед яких необхідно вибрати оптимальний. Таким чином, для розв'язання завдань оптимізації і правильної послідовності етапів формалізація задачі оптимізації включає такі питання:

- постановка завдання;
- вибір критеріїв оптимізації;
- вибір керуючих (змінних) факторів;
- запис функції мети;
- виділення множини допустимих значень змінних;
- попередній аналіз змінних.

Важливим етапом при цьому є оптимізаційна модель, дослідження якої дають можливість вивчити основні закономірності функціонування реального об'єкта, найкращі способи керування та його використання. В таких випадках отримані рішення повинні бути такими, які б мали або забезпечували суттєві переваги над іншими.

Оптимізаційні моделі, які нині вирішують багато різних технічно-економічних проблем в енергетиці, базуються на вирішенні, задач, пов'язаних

із знаходженням максимуму або мінімуму деякої функції. Постановка оптимізаційної задачі в принципі являє собою переклад на мову математики природних вимог найкращого функціонування системи (об'єкта). У більшості випадків постановка оптимізаційної задачі включає два математичні об'єкти: множину допустимих розв'язків та цільову функцію, яка в принципі і є математичною моделлю досліджуваного об'єкту.

У цьому випадку перед дослідником виникають задачі вибору показників функціонування об'єкта (критерії оптимальності, параметр оптимізації), а також формулювання задачі на знаходження максимуму або мінімуму цього критерію із врахуванням певних (необхідних) обмежень.

Треба пам'ятати, що такі етапи як: формування задач оптимізації, збір і підготовка інформації, розробка та побудова математичної моделі, аналіз рішення не можна здійснювати на комп'ютері, це завжди є прерогатива дослідника – розробника.

Ефективність процесів, систем, операцій визначають критеріями оптимальності, тобто певними показниками, які кількісно виражають результат прийнятого розв'язку. Такими критеріями, наприклад в енергетиці, можуть бути собівартість та рентабельність виробництва та розподілу електричної енергії, економічна ефективність сучасних технологічних процесів, надійність роботи електричних систем та якість електроенергії.

### **Приклади розв'язання задачі аналізу роботи підприємства [18].**

Задача 1. В результаті аналізу роботи підприємства встановлено, що коливання споживання енергії протягом зміни при виробництві продукції змінюється згідно з даними наведених в табл. 1. Всього проведено 30 вимірів. Необхідно провести статистичний аналіз результатів, перевірити гіпотезу про нормальний розподіл споживання електроенергії на підприємстві, здійснити перевірку за критеріями асиметрії та ексцесу.

**Таблиця 1 – Розподіл споживання електроенергії**

№ п\п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Р, кВт год	22,0	23,3	21,7	22,8	21,6	23,2	21,5	21,2	23,3	21,2	21,5	22,7	21,4	23,3	23,1
№ п\п	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Р, кВт год	21,6	21,1	23,7	20,1	20,4	21,3	21,4	22,8	20,1	20,6	22,2	21,7	21,4	21,0	23,2

Статистичний аналіз проводиться у такій послідовності.

Всю вибірку розбиваємо на  $K$  інтервалів на базі аналізу табл. 1 за такою формулою:

$$K = 1 + 3,2 \cdot \lg N = 1 + 3,2 \cdot 1,4771 = 5,73 \approx 6,$$

де  $N$  – кількість вимірювань.

Таким чином, маємо 6 інтервалів.

Визначаємо величину інтервалу  $\Delta y$ :

$$\Delta y = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{K} = \frac{24,2 - 20,1}{6} = 0,7.$$

Складаємо табл. 2, де наведено розрахунок проміжних показників ( $m_i$  - кількість значень із вибірки обсягом  $N$ , що потрапили у відповідний інтервал).

Середнє значення вибірки:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^k y_i \cdot m = \frac{1}{30} \cdot 656,1 = 21,87.$$

Далі проводимо розрахунки у такій послідовності.

**Таблиця 2 – Розрахункові дані проміжних показників**

Номер інтервалу	Межі інтервалу	Середнє значення в інтервалі $y_i$	Частота в інтервалі $m_i$	$y_i \cdot m$	Відносна частота $\frac{m_i}{N}$	$(y_i - \bar{y})^2 m$
1	20,1-20,7	20,4	4	81,6	0,133	8,64
2	20,8-21,4	21,1	8	168,8	0,266	4,74
3	21,5-22,1	21,8	7	152,6	0,233	0,034
4	22,2-22,8	22,5	4	90	0,133	1,588
5	22,9-23,5	23,2	6	139,2	0,2	10,61
6	23,6-24,2	23,9	1	23,9	0,033	4,12
			$\Sigma=30$	$\Sigma=656,1$	$\Sigma=1,0$	$\Sigma=29,74$

Знаходимо:

- дисперсію

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^k m_i (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{29} \cdot 29,74 = 1,025;$$

- середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 1,013;$$

- змінюваність (варіацію) випадкових величин:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{y}} \cdot 100\% = 4,6 \% \text{ або } 0,046 \%;$$

- середньоквадратичну похибку:

$$\sigma_y = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{1,013}{5,47} = 0,185;$$

- показник точності дослідів:

$$p = \frac{\sigma_y}{\bar{y}} \cdot 100\% = 0,84 \%;$$

- інтервал довіри для математичного сподівання вибірки  $M_y$ :

$$\bar{y} - t \cdot \sigma_y \leq M_y \leq \bar{y} + t \cdot \sigma_y \quad (\text{критерій Стюдента})$$

$$21,87 - 0,00925 \leq M_y \leq 21,87 + 0,00925 \text{ або } 21 \leq M_y \leq 21,88;$$

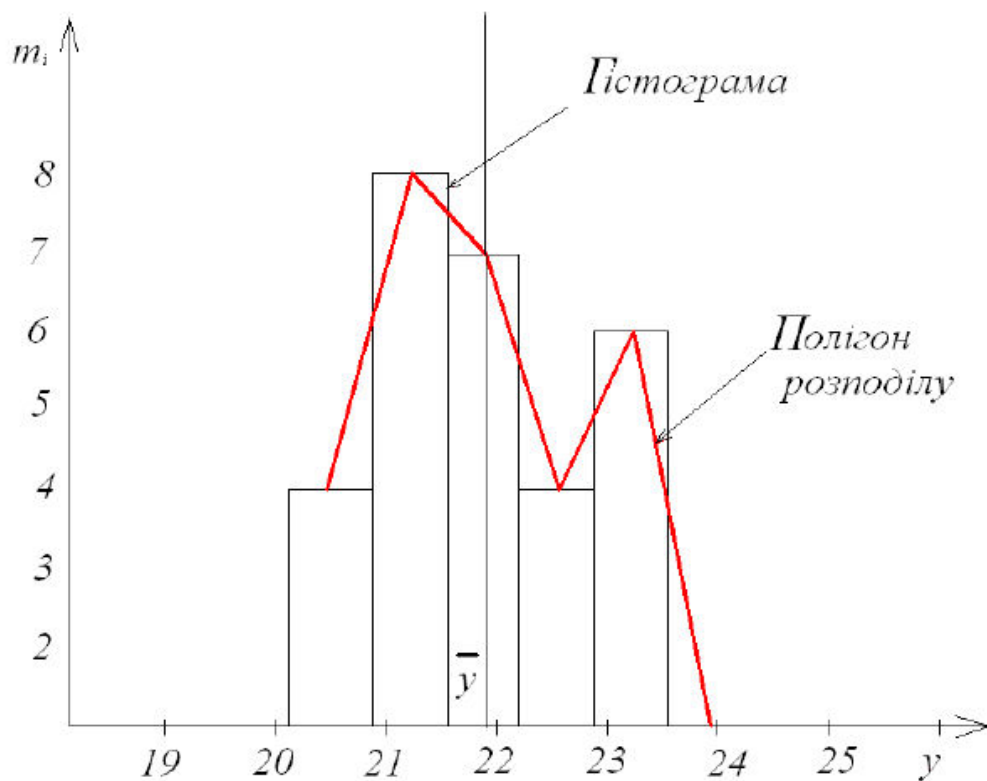
- необхідну кількість дубльованих вимірювань:

$$n \geq \frac{V^2 \cdot t^2}{q^2} \quad (q - \text{рівень значущості, дорівнює } 0,05)$$

$$n \geq \frac{0,046^2 \cdot 2,04^2}{0,05^2} = 3,52.$$

Після наведених розрахунків і побудови гістограми та полігона розподілу (рис. 1) здійснюємо відповідні розрахунки, перевіряємо нормальності розподілу даних вимірювань:

$$I(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma^2}}.$$



**Рисунок 1 – Гістограма і полігон розподілу, графік залежності  $m_i=f(y)$**

Розрахунок проводимо у такій послідовності:

- визначаємо критерій асиметрії  $A$  та ексцесу  $E$ :

$$A = \frac{1}{N \cdot \sigma^3} \cdot \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^3 \cdot m_i = \frac{1 \cdot 38,82}{30 \cdot 1,04} = 1,24,$$

$$E = \frac{1}{N \cdot \sigma^4} \cdot \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^4 \cdot m_i = \frac{1 \cdot 54,86}{30 \cdot 1,055} = 1,73.$$

Далі визначаємо середньоквадратичні відхилення для показників асиметрії та ексцесу:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6(N-1)}{(N+1) \cdot (N+3)}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 29}{31 \cdot 33}} = 0,42,$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24N(N-2)(N-3)}{(N-1)^2 \cdot (N+3)(N+5)}} = 0,75.$$

Отримавши значення  $\sigma_E$  і  $\sigma_A$  перевіряємо гіпотезу про нормальність розподілу (якщо  $\frac{A}{\sigma_A}$  чи  $\frac{E}{\sigma_E}$  більше 3, то нормальність розподілу ставиться під сумнів):

$$\frac{A}{\sigma_A} = \frac{1,24}{0,42} = 2,95 < 3,$$

$$\frac{E}{\sigma_E} = \frac{1,73}{0,75} = 2,31 < 3.$$

Аналізуючи наведені результати, гіпотеза про нормальний розподіл вихідної величини приймається.

Наступним кроком є побудова кривої нормального розподілу (рис. 2), яка здійснюється шляхом розрахунку координат на осях абсцис та ординат за відповідними формулами:



по осі абсцис:

$$y = \bar{y} \pm z \cdot \sigma;$$

по осі ординат:

$$f(y) = y_0 \frac{\Delta y}{\sigma} \cdot N,$$

де  $z$  – координат в долях від  $\sigma$  ( $z=0,1..3$  при кроці 0,1 або 0,2);  $y_0$  – табличне значення функції, яке залежить від  $z$ ;  $\Delta y$  – величина інтервалу.

#### Розрахунок координат на осі абсцис:

Права частина кривої:

$$y_1 = 21,87 + 0,2 \cdot \sigma = 22,07;$$

$$y_2 = 21,87 + 0,4 \cdot \sigma = 22,275;$$

$$y_3 = 21,87 + 0,6 \cdot \sigma = 22,48;$$

$$y_4 = 21,87 + 0,8 \cdot \sigma = 22,68;$$

$$y_5 = 21,87 + 1,0 \cdot \sigma = 22,87;$$

$$y_6 = 21,87 + 1,2 \cdot \sigma = 23,08;$$

$$y_7 = 21,87 + 1,4 \cdot \sigma = 23,29;$$

$$y_8 = 21,87 + 1,6 \cdot \sigma = 23,49;$$

$$y_9 = 21,87 + 1,8 \cdot \sigma = 23,69;$$

$$y_{10} = 21,87 + 2,0 \cdot \sigma = 23,9;$$

$$y_{11} = 21,87 + 3,0 \cdot \sigma = 24,9.$$

Ліва частина кривої:

$$y_1 = 21,87 - 0,2 \cdot \sigma = 21,67;$$

$$y_2 = 21,87 - 0,4 \cdot \sigma = 21,47;$$

$$y_3 = 21,87 - 0,6 \cdot \sigma = 21,26;$$

$$y_4 = 21,87 - 0,8 \cdot \sigma = 21,06;$$

$$y_5 = 21,87 - 1,0 \cdot \sigma = 20,87;$$

$$y_6 = 21,87 - 1,2 \cdot \sigma = 19,61;$$

$$y_7 = 21,87 - 1,4 \cdot \sigma = 18,83.$$

Розрахунок координат на осі ординат:

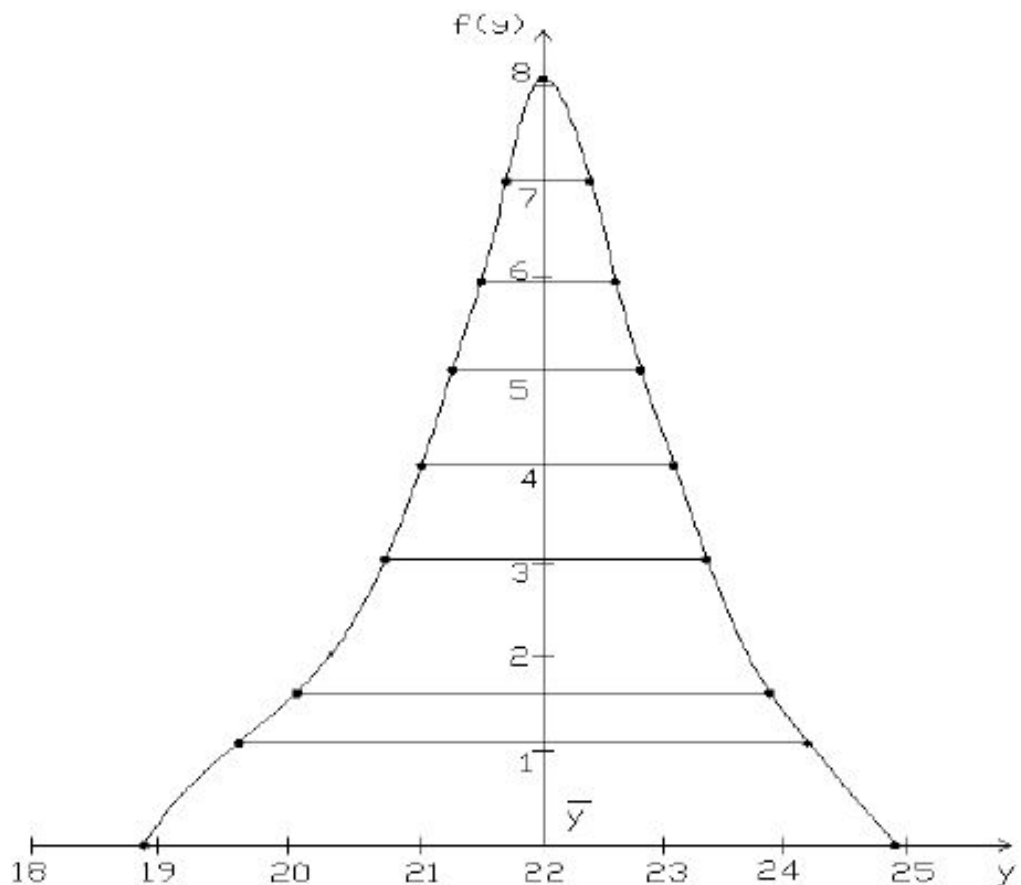
$$f(y_1)_{0,2} = 0,391 \frac{0,7}{1,013} \cdot 30 = 8,1; \quad f(y_2)_{0,4} = 0,3682 \frac{0,7}{1,013} \cdot 30 = 7,58;$$

$$f(y_3)_{0,6} = 0,3332 \frac{0,7}{1,013} \cdot 30 = 6,867; \quad f(y_4)_{0,8} = 0,2897 \frac{0,7}{1,013} \cdot 30 = 5,97;$$

$$f(y_5)_{1,0} = 0,242 \frac{0,7}{1,013} \cdot 30 = 5,0; \quad f(y_6)_{1,2} = 0,1942 \frac{0,7}{1,013} \cdot 30 = 4,0;$$

$$f(y_7)_{1,4} = 0,15 \frac{0,7}{1,013} \cdot 30 = 3,08; \quad f(y_8)_{1,8} = 0,079 \frac{0,7}{1,013} \cdot 30 = 1,62;$$

$$f(y_9)_{2,0} = 0,054 \frac{0,7}{1,013} \cdot 30 = 1,0102.$$



**Рисунок 2 – Крива нормального розподілу**

Задача 2. При обстеженні технічного стану електрообладнання оцінки впливу кваліфікації працівників та можливостей зменшення витрат електроенергії на виробництві, було встановлено, що на 16 ділянках (верстатах), які виробляють електротехнічні вироби, величина споживання електроенергії за добу ( $2^x$  змінна робота) на кожному верстаті становить (кВт · год):

$P_1' = 3,37; 3,53; 3,09; 2,89; 2,73; 2,54; 2,46; 2,41; 2,34; 2,35; 2,29; 2,33; 2,39; 2,62; 2,41; 2,72.$

Необхідно встановити закон розподілу споживаної електроенергії як на кожному верстаті, так і на 1 виріб.

*Розв'язання.* Виконавши відповідні розрахунки (по аналогії із попередньою задачею) в табл. 3, 4 наведені варіаційні ряди вибірок електроспоживання та гістограми їх (рис. 3, 4).

**Таблиця 3 – Варіаційний ряд вибірки електроспоживання верстатами за добу**

№ інтервалу	Межі інтервалу	Частота в інтервалі	Відносна частота, $P(z)_i = m_i / N$
1.	33 – 36	9	0,5625
2.	36 – 39	4	0,25
3.	39 – 42	1	0,0625
4.	42 – 45	0	0
5.	45 – 48	2	0,125
Сума		$\Sigma = 16$	$\Sigma = 1,0$

Проаналізувавши гістограми, (рис. 3; 4) побудовані згідно табл. 3, 4 перевіряємо нормальність розподілу даних електроспоживання на виробництві:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y_i - \bar{y})^2}{2\sigma^2}}.$$

**Таблиця 4 - Варіаційний ряд вибірки електроспоживання верстатами  
за добу**

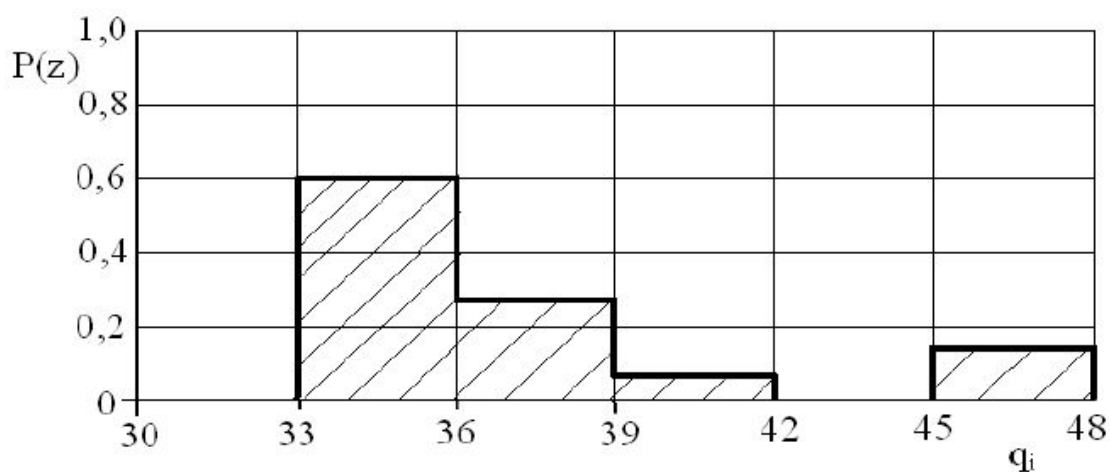
№ інтервалу	Межі інтервалу	Частота в інтервалі	Відносна частота, $P(z)_i = m_i / N$
6.	2,1 – 2,4	5	0,3125
7.	2,4 -2,7	5	0,3125
8.	2,7 – 3,0	3	0,1825
9.	3,0 – 3,3	1	0,0625
10.	3,3 – 3,6	2	0,125
Сума		$\Sigma = 16$	$\Sigma = 1,0$

Відповідно статистичних оцінок електроспоживання за добу становить:

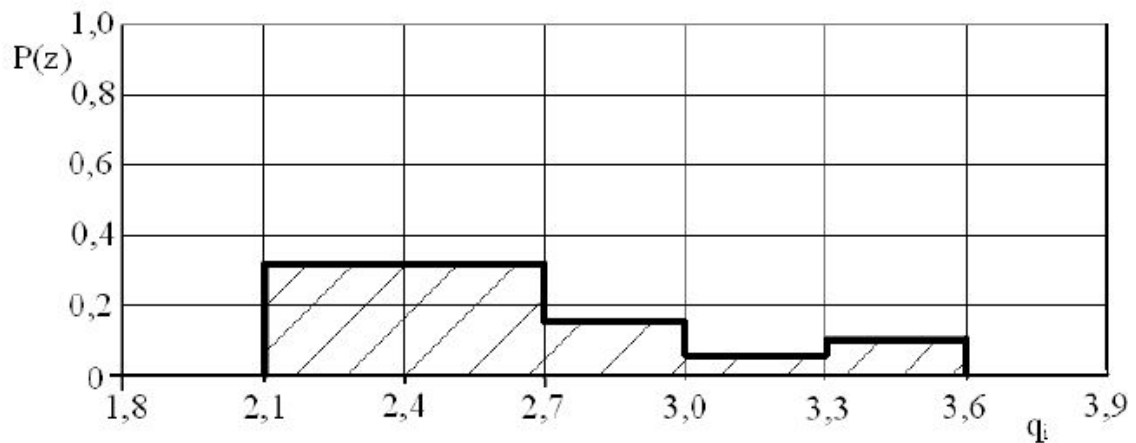
$$\overline{y_z} = 15,633; D_z = 0.194; \sigma = 0,441,$$

що при довірчій ймовірності 0,98, довірчі інтервали становлять:

$$15,329 \leq \overline{y_z} \leq 15,967; 0,118 \leq D_z \leq 0,691; 0,344 \leq \sigma \leq 0,831.$$



**Рисунок 3 – Гістограма варіаційного ряду вибірки електропостачання  
верстатами за добу**



**Рисунок 4 – Гістограма варіаційного ряду вибірки електроспоживання верстатом на 1 виріб**

Електроспоживання на 1 виріб становить відповідно:

$$\overline{y_z} = 4,201; 0,118 \leq D_z' = 0,347; \sigma' = 0,589,$$

що при довірчій імовірності 0,98 буде:

$$3,818 \leq \overline{y_z} \leq 4,584; 0,17 \leq D_z' \leq 0,936; 0,412 \leq \sigma' \leq 0,967.$$

Довірчі інтервали для статистичних оцінок, характеризують стан електроспоживання на виробництві, яке підпорядковується нормальному логарифмічному закону.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Довідник сільського електрика / [за ред. В. С. Олійника. – 3-є вид., перероб. і доп.] – К.: Урожай, 1989. – 264 с. (ст. 62-100).
2. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства / Притака І. П. – 2-е вид. перероб. та доп. – К.: Вища школа. Головне вид-во, 1983.– 343с. (ст. 108-111, 121, 122).
3. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / Будзко И. А., Зуль Н. М. – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с. (ст. 144-146, 458-460, 469,470-473).
4. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства / [под редакцией Будзко И. А.] – М.: Колос, 1982. –319с. (ст.60-65, 315).
5. Правила устройства электроустановок. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 704 с.
6. Харкута К. С. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства / Харкута К. С., Яницкий С. В., Ляш Э. В. – М.: Агропромиздат, 1992. -223с.
7. Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент / Бакалін Ю. І. навч. посіб. для студ. ВНЗ. – 3-тє вид., доп. та перероб.: – Х.: Бурун і К, 2006. – 319с.
8. Андрижиевский А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент: учеб. пособие / А. А. Андрижиевский, В. И. Володин. – 2-е изд., испр. – Мн.: Выш. шк., 2005. – 294 с.
9. Енергетичний менеджмент / [А. В Праховник., В. П. Розен, О. В. Розумовський, О. І. Соловей и др.] – Навч. посіб. / Національний технічний ун-т України "Київський політехнічний ін-т"; Інститут енергозбереження та енергоменеджменту / – К.: Київська нотна ф-ка, 1999. – 184 с.
10. Савінов О. М. Енергетичний менеджмент / Савінов О. М.: навч. посібник / Національний авіаційний ун-т. – К.: НАУ, 2008. – 92с.
11. Аввакумов В. Г. Постановка и решение электроэнергетических задач

- исследования операций. — К.: Вища школа, 1983. — 240 с.
12. Таха Х. Введение в исследование операций: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 912 с.
  13. Ланге О. Оптимальные решения. Основы программирования. — М.: «Прогресс», 1967. — 289 с.
  14. Сайт Вищої ради енергоаудиторів та енергоменеджерів України / Режим доступу: <http://ukrenergoaudit.org/ua/pro-organizatsiyu/diyalnist/14-energetichnij-menedzhment.html>
  15. Енергетичний менеджмент у виробництві сільськогосподарської продукції / О. Г. Захарченко // Економіка АПК. - 2016. - № 8. - С. 79-86. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/E\\_apk\\_2016\\_8\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/E_apk_2016_8_14)
  16. Основні терміни і поняття енергетичного моніторингу в Інформаційній системі енергомоніторингу / Режим доступу: [http://www.korosten.in.ua/images/economika/energy\\_management/2\\_\\_\\_\\_\\_.pdf](http://www.korosten.in.ua/images/economika/energy_management/2_____.pdf)
  17. Енергетичний моніторинг в системі міста / Режим доступу: <http://saee.gov.ua/sites/default/files/Lyagutko.pdf>
  18. Іноземцев Г.Б., Козирський В.В. Математичне моделювання та оптимізація систем електроспоживання у сільському господарстві / Режим доступу: [http://www.studmed.ru/nozemcev-gb-kozirskiy-vv-matematichne-modelyuvannya-ta-optimzacya-sistem-elektrospozhivannya-u-slskomu-gospodarstv\\_6fc3d8bd39f.html](http://www.studmed.ru/nozemcev-gb-kozirskiy-vv-matematichne-modelyuvannya-ta-optimzacya-sistem-elektrospozhivannya-u-slskomu-gospodarstv_6fc3d8bd39f.html)

Навчально-методичне видання

## Енергетичний моніторинг та оптимізація СЕП

Методичні вказівки до виконання самостійної роботи для студентів  
денної та заочної форми навчання за напрямом підготовки:

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
спеціалізація «Енергетика та автоматика аграрного комплексу»)

Укладачі: *О. П. Голик*  
*І.В. Волков*

Підписано до друку 20.02.2018. Формат 60х84 1/16. Папір газетний. Ум.  
друк. арк. 2,0. Тираж 20 прим.